

⑨ 日本国特許庁(JP)

⑩ 特許出願公開

## ⑫ 公開特許公報(A)

昭62-211506

⑪ Int. Cl.<sup>4</sup>

識別記号

庁内整理番号

⑬ 公開 昭和62年(1987)9月17日

G 01 C 1/00

D-8505-2F

B 64 G 1/36

7615-3D

G 01 C 21/24

6666-2F

G 01 S 3/78

Z-6707-5J

G 02 B 7/18

D-7403-2H

G 05 D 1/08

A-8527-5H

審査請求 未請求 発明の数 1 (全8頁)

⑭ 発明の名称 デジタル太陽センサ

⑮ 特 願 昭61-54094

⑯ 出 願 昭61(1986)3月12日

⑰ 発 明 者 岡 本 二 彦 川崎市幸区小向東芝1番地 株式会社東芝小向工場内

⑱ 出 願 人 株 式 会 社 東 芝 川崎市幸区堀川町72番地

⑲ 代 理 人 弁理士 鈴 江 武 彦 外2名

## 明 細 書

## 1. 発明の名称

デジタル太陽センサ

## 2. 特許請求の範囲

太陽光の強度を波長に依存せず減衰させるNDフィルタと、このNDフィルタの下部に配置され該NDフィルタとの接触面に太陽光を通過させるスリットを形成してなるプリズムと、このプリズムの下部に配置され該プリズムによって分散する太陽光のうち特定の波長域の光だけを通させるバンドパスフィルタと、このバンドパスフィルタの下部に配置され前記スリットより所定間隔だけ離間され該スリットと直交して配列され該スリットを通過し回折した太陽光を受光する複数の受光部からなるリニアアレイセンサと、このリニアアレイセンサからの出力信号のピーク値を一定のレベルにする自動利得調整回路と、この自動利得調整回路からの信号と所定のしきい値とを比較する比較器と、前記リニアアレイセンサの1個の受光部に相当する周波数の第1のクロックを生成

する第1のクロック生成手段と、この第1のクロック生成手段で発生される第1のクロックの1/2周波数の第2のクロックを生成する第2のクロック生成手段と、前記第1及び第2のクロックを前記比較器で入力信号がしきい値以下のとき第1のクロックを、しきい値以上のとき第2のクロックを選択的に導出するクロック切換手段と、このクロック切換手段から導出されるクロックを計数するN(Nは自然数)ビット出力のカウントと、上記第2のクロックが最下位ビットに供給され他のビットには前記カウントのビット出力が供給されるラッチ回路とを具備し、このラッチ回路の出力データから太陽光の分布の中心を求めて太陽入射角を検出するようにしたことを特徴とするデジタル太陽センサ。

## 3. 発明の詳細な説明

[発明の目的]

(産業上の利用分野)

この発明は、例えば三軸姿勢制御を行なう人工衛星あるいはスピン方式人工衛星の姿勢を高精

度に検出するために使用されるデジタル太陽センサに関する。

(従来の技術)

周知のように、従来使用されているこの種のデジタル太陽センサは大別して以下の2方式がある。

- (1) Vスリット型デジタル太陽センサ
- (2) グレイコードパターンを使用するデジタル太陽センサ

上記(1)の方式は、スピン方式の衛星に使用されるものであり、第9図に示すようにスリットとフォトセル(図示せず)からなる第1及び第2のセンサ11, 12を衛星上に略V字型となるよう配置したものである。すなわち、第1のセンサ11はスピン軸Sと平行して配置され、第2のセンサ12は第1のセンサ11より所定角度 $\theta$ だけ離されると共に、スピン軸Sに対して角度Aだけ傾斜して配置される。このような構成において、衛星のスピンにより太陽光SBが各センサ11, 12のスリットをよぎると、これらセンサ11, 12からはそれぞれ第10

図(a), (b)に示すようなパルス信号が出力される。そして、これらパルス信号の時間間隔TS及びTSSを測定することにより、太陽方位角が計算して求められる。

しかし、この方式においては、衛星上に第1及び第2のセンサ11, 12を取付ける際、これらがなす角 $\theta$ 及び第2のセンサ12の傾斜角Aを正確に設定することが難しいため、アライメントの精度を向上することが困難であり、太陽入射角を $1^\circ$ 以上の精度で検知することが不可能であった。また、この方式は原理的に三軸姿勢制御衛星には使用できないものであった。

一方、第11図は前記(2)の方式のデジタル太陽センサの構成を示すものである。すなわち、石英からなるプリズム31の表面にはスリット32がエッチングされた遮光膜33が設けられ、裏面にはグレイコードパターン34がエッチングされた遮光膜35が設けられている。また、前記各グレイコードパターン34にはそれぞれフォトセル361が対向して配設されている。このように構成されたセンサは

前記スリット32が衛星のスピン軸Sに垂直となるよう配設される。しかして、角度 $\theta$ で入射した太陽光SBはスリット32を通過してグレイコードパターン34に入射され、このグレイコードパターン34のいずれかを通過した光は対応するフォトセル361によって受光される。

このフォトセル361からは入射 $=1^\circ$ 、入射せず $=0^\circ$ の出力信号が得られ、このフォトセル361の出力信号は信号処理回路37に供給される。この信号処理回路37では入射された信号のコードパターンより太陽入射角SDが求められる。尚、前記遮光膜35にはグレイコードパターン34の他に符号ビット用パターン38、及びスピン衛星の場合にはセンサの視野とスピン軸のなす平面内に太陽が入ったことを示すサンパルス用のパターン39が設けられ、これらパターン38, 39にも同様にフォトセル362, 363が対向して設けられる。これらフォトセル362, 363の出力信号は前記信号処理回路37に供給され、所定の信号処理が行われてサンパルス信号SP等が出力されるようになされて

いる。

このような方式によれば、(1)の方式に比べて衛星に対するセンサの取付けが容易となる利点を有している。しかし、地球から見た場合、太陽光は $0.5^\circ$ の広がりを持った平行光線であるため、グレイコードの最少パターン幅を $0.5^\circ$ に相当する幅以上に細かくしても、太陽光の広がりにより分解能を向上させることができない。したがって、この方式では太陽入射角を $0.5^\circ$ の精度で検出するのが限界であり、これ以上精度を向上させるには $0.5^\circ$ に相当する幅のパターンをいくつか用意し、その配置を工夫すること以外にない。いずれにしても、この方式では太陽光の $0.5^\circ$ の広がりが精度向上を拘束しており、上記以上の検出精度を望むことは困難なものであった。

(発明が解決しようとする問題点)

この発明は上記のように太陽入射角の検出が太陽光の広がりによって拘束されていた点を改善し、太陽入射角を高精度に検出することができるデジタル太陽センサを提供することを目的とする。

(問題点を解決するための手段)

すなわち、この発明に係るデジタル太陽センサは、太陽光の強度を波長に依存せず減衰させるNDフィルタと、このNDフィルタの下部に配置され該NDフィルタとの接触面に太陽光を通過させるスリットを形成してなるプリズムと、このプリズムの下部に配置され該プリズムによって分散する太陽光のうち特定の波長域の光だけを通過させるバンドパスフィルタと、このバンドパスフィルタの下部に配置され前記スリットより所定間隔だけ離間され該スリットと直交して配列され該スリットを通過し回折した太陽光を受光する複数の受光部からなるリニアアレイセンサと、このリニアアレイセンサからの出力信号のピーク値を一定のレベルにする自動利得調整回路と、この自動利得調整回路からの信号と所定のしきい値とを比較する比較器と、前記リニアアレイセンサの1個の受光部に相当する周波数の第1のクロックを生成する第1のクロック生成手段と、この第1のクロック生成手段で発生される第1のクロックの1/

2周波数の第2のクロックを生成する第2のクロック生成手段と、前記第1及び第2のクロックを前記比較器で入力信号がしきい値以下のとき第1のクロックを、しきい値以上のとき第2のクロックを選択的に導出するクロック切換手段と、このクロック切換手段から導出されるクロックを計数するN(Nは自然数)ビット出力のカウントと、上記第2のクロックが最下位ビットに供給され他のビットには前記カウントのビット出力が供給されるラッチ回路とを具備し、このラッチ回路の出力データから太陽光の分布の中心を求めて太陽入射角を検出するようにしたことを特徴とするものである。

(作用)

つまり、スリットより所定間隔離間してかつこのスリットと直交する方向にリニアアレイセンサを配置し、このリニアアレイセンサにより前記スリットを通して入射された太陽光を受光すると共に、このリニアアレイセンサの出力信号と所定のしきい値とを比較し、この比較出力信号が“0”

から“1”に変化する受光部(以下、画素と呼ぶ)の位置までをリニアアレイセンサの1画素分に相当する周波数のクロックでカウントし、比較出力信号が“1”から“0”に変化する画素位置までは上記周波数の1/2に相当するクロックでカウントすることにより、太陽光の広がりを中心位置を1/2画素に相当する分解能で求め、太陽入射角を検出しようとするものである。

(実施例)

以下、第1図乃至第7図を参照してこの発明の一実施例を説明する。

まず、デジタル太陽センサの光学系について説明する。第1図において、遮光膜41の中央部には遮光膜41の長手方向と直交してスリット42が設けられ、その加工位置は遮光膜41へのフォトリソトによりプリズム43の上面に形成される。プリズム43は石英あるいは光学ガラスからなる。プリズム43の下面には透過する光の波長域を制限するためのバンドパスフィルタ44が配設される。その下には、例えばCCDリニアアレイセンサ45が設け

られる。このCCDリニアアレイセンサ45は、第2図に示すように、その画素451の配列方向が前記スリット42と直交するようになされ、かつ、全画素長さの1/2、つまり中央部がスリット42と対向するよう配設される。尚、太陽光の強度が増加したときCCDリニアアレイセンサ45からの出力が飽和しないようにするため、第3図に示すように、スリット42の上にはNDフィルタ46が配設される。

ここで、上記NDフィルタ46を通過した太陽光SBはスリット42を通過した後、プリズム43、バンドパスフィルタ44を経てCCDリニアアレイセンサ45上に入射する。スリット幅を適当に選択することにより、太陽光SBはスリット42通過時の回折現象により入射角 $\theta$ に依存することなく、第4図(a)に示すように左右対称な強度分布Iを有する像が得られる。ところが、スリット42の下にはプリズム43があるため、太陽光SBはプリズム43に入ると分散現象が生じ、波長により屈折角が異なるようになる。このため、プリズム43がな

ければ第4図(a)に示した強度分布(I)は同図(b)に示すように左右対称がくずれた歪んだ分布(II)になり、入射角 $\theta$ を検出する際に誤差源 $\Delta x$ となる。前記バンドパスフィルタ44は太陽光の波長を制限することにより、この分散の影響を除き、太陽光の分布が第4図(a)に示す強度分布(I)、つまり左右対称となるようにするために使用される。尚、バンドパスフィルタ44の透過波長域は、CCDリニアアレイセンサ45の分光感度特性を考慮して、例えば550[nm]近辺に設定することが望ましい。

上記のようにスリット42とCCDリニアアレイセンサ45との間にプリズム43を介在させる理由について説明する。プリズム43はデジタル太陽センサの視野を広げると共に、CCDリニアアレイセンサ45の各画素の角分解能を太陽入射角 $\theta$ に対して均一にすることができる利点を有している。すなわち、第3図に示したように、スリット42とCCDリニアアレイセンサ45間の距離を $h$ 一定とすると、プリズム43を設けた場合は、プリズム43

の屈折率を $n$ とすると、 $n \approx 1.5 > 1$ よりスネルの法則から

$$\sin \theta = n \sin \theta'$$

となり、プリズム43のない場合における最大視野角 $\theta'$ に比べ、視野角を大きくすることができる。また、CCDリニアアレイセンサ45の1画素当りの角分解能 $d\theta$ は、プリズム43を挿入しない場合、

$$d\theta = \frac{dx}{h} \cdot \cos^2 \theta$$

(但し、 $dx = 1$ 画素長：一定値)

となり、入射角 $\theta$ に大きく依存する。第5図は角分解能 $d\theta$ と入射角 $\theta$ の関係を示すものであり、(I)はプリズム43を挿入しない場合、(II)はプリズム43を挿入した場合を示すものである。ここで、入射角 $\theta$ が大きくなると、角分解能が小さくなるのがわかる。これに対して、プリズム43を設けた場合は、

$$d\theta = dx \cdot \frac{n}{h} \cdot \frac{\cos^2 \left( \sin^{-1} \left( \frac{1}{n} \sin \theta \right) \right)}{\cos \theta} \cdot \frac{180}{\pi}$$

[deg]

となり、 $d\theta$ と入射角 $\theta$ との関係は、第5図の(II)に示したように、1画素当りの角分解能 $d\theta$ は入射角 $\theta$ にほとんど依存せず一定となるのがわかる。また、プリズム43の厚さは、CCDリニアアレイセンサ45の全画素長 $l$ とセンサの視野角 $\theta$ より $h = l / \tan \theta$ の関係より求められる。CCDリニアアレイセンサ45はその画素数が多くなればなるほど角分解能が向上するため、なるべく全画素数の多い素子が使用される。例えば、2048画素を有するCCDリニアアレイセンサを使用した場合、視野を $\pm 50^\circ$ とすると、角分解能は第5図に示したように $0.05^\circ$ となる。

次に、このデジタル太陽センサの信号処理系について、第6図及び第7図を用いて説明する。

第6図はその構成を示すもので、上記CCDリニアアレイセンサ45はCCD駆動回路61からのクロックCK1によって駆動されており、その出力信号はプリアンプ62を経てAGC(自動利得制御)回路63に入力され、所定レベルまで増幅される。このAGC回路63の出力は比較器64に入力される。

この比較器64は入力電圧VINとしきい値電圧VTHと比較し、VIN < VTHで“0”、VIN > VTHで“1”を出力するものである。この比較器64の出力は第1及び第2のワンショットマルチバイブレータ65、66に与えられる。

第1のワンショットマルチバイブレータ65は比較器64の出力が“0”から“1”に変化するときパルスP1を発生して第1及び第2のS-Rフリップフロップ67、68のセット端子Sに供給するものである。また、第2のワンショットマルチバイブレータ66は比較器64の出力が“1”から“0”に変化するときパルスP2を発生して第1のS-Rフリップフロップ67のリセット端子Rに供給すると共に、後述するラッチ回路74のクロック端子Cに供給するものである。

上記第1のフリップフロップ67のQ出力はANDゲート69の一方の入力端に供給され、第2のフリップフロップ68のQ出力はANDゲート70の一方の入力端に供給される。これらANDゲート69、70の各他方の入力端にはそれぞれCCD駆

動回路61で発生されるクロックCK1が供給される。ANDゲート69の出力は第3の(Dラッチ型)S-Rフリップフロップ71のクロック端子Cに供給される。このフリップフロップ71のセット端子Sは接地され、Q出力端はD入力端に接続される。そして、そのQ出力は上記ANDゲート70の出力と共にORゲート72の各入力端に供給されると共に、ラッチ回路74の1ビット入力端に供給される。上記ORゲート72の出力はカウンタ73のクロック端子Cに供給される。

このカウンタ73の各ビット出力端Q1～QNはそれぞれラッチ回路74の2～N+1ビット入力端に接続されており、このラッチ回路74の出力は出力回路(例えばメモリ)75に一旦保持される。つまり、この出力回路75に読出しクロックCK3を与えることによってデータDOUTを取出すことができる。

尚、上記CCD駆動回路61は所定タイミングでリセットパルスRPを発生しており、このリセットパルスRPは第2及び第3のフリップフロップ

することができ、測定精度の変動を防止できる。このAGC回路63の出力信号は比較器64にて、第7図(b)に示すように、しきい値電圧 $V_{TH}$ と比較される。しかして、比較器64からは、第7図(d)に示すように、入力信号がしきい値電圧 $V_{TH}$ 以下の場合“0”レベル、しきい値電圧 $V_{TH}$ 以上の場合“1”レベルの信号が出力される。

そこで、第7図(d)に示す比較器64の出力から、太陽光の分布の中心を求める。すなわち、第7図(d)において、CCDリニアアレイセンサ45の一方の最端部画素位置を0とし、比較器64の出力信号が“0”から“1”に変化する画素位置を $x_1$ 、“1”から“0”に変化する画素位置を $x_2$ とすると、太陽光の広がり中心位置は $x_1 + \frac{x_2 - x_1}{2}$ で求めることができる。以下にその方法を説明する。

まず、比較器64の出力信号が“0”から“1”に変化すると、これと同時に第1のワンショットマルチバイブレータ65よりパルスP1が発生し、

68、カウンタ73の各リセット端子Rに供給される。

すなわち、前記構成の光学系を経てCCDリニアアレイセンサ45で受光される太陽光の強度分布は入射角 $\theta$ に依存せず、第7図(a)に示すように左右対称になる。CCDリニアアレイセンサ45からは、CCD駆動回路61より第7図(c)に示すような1周期がCCDリニアアレイセンサ45の1画素に対応するクロックCK1が供給されており、このクロック信号CK1に同期して太陽光の強度分布に対応する各画素からの出力電圧が、第7図(b)に示すように時分割されて順次出力される。この時分割信号はブリアンプ62によってある程度増幅された後、AGC回路63に供給される。

このAGC回路63の機能は、入射光の強度が太陽の入射角 $\theta$ の余弦関数となり、信号が変化する場合においても出力電圧のピーク値が常に一定値となるように回路の利得を制御する。これによって太陽の入射角が大きくなり、CCDリニアアレイセンサ45からの出力が低下した場合でも、常に同一レベルの電圧として同一条件下で信号を処理

第2のフリップフロップ68がセットされ、これによって第2のフリップフロップ68のQ出力は“1”から“0”へ変化する。すると、ANDゲート69の出力は、第6図に示すように、フリップフロップ68のQ出力が“1”レベルである間、第7図(e)に示すようにCCD駆動回路61からのクロックCK1を出力する。このクロックはORゲート72を経てカウンタ73に入力され、ここで画素数 $x_1$ が計数される。

このカウンタ73はCCDリニアアレイセンサ45の全画素数を計数可能なNビットの出力を有するものを使用する。例えば、全画素数が2048画素のCCDリニアアレイセンサを使用する場合には $N=11$ となるから、11ビット以上の計数が可能なカウンタを使用する。

次に、 $\frac{x_2 - x_1}{2}$ を求める方法を説明する。第7図(d)に示す画素位置 $x_1$ で比較器64の出力信号が“0”から“1”レベルに変化すると、第1のワンショットマルチバイブレータ65よりパル

スP1が発生し、これによって第1のフリップフロップ67がセットされる。このため、フリップフロップ67のQ出力は“0”から“1”に変化する。次に、第7図(d)に示す画素位置x2で比較器64の出力信号が“1”から“0”レベルに変化すると、第2のワンショットマルチバイブレータ66よりパルスP2が発生し、これによって第1のフリップフロップ67がリセットされる。このため、フリップフロップ67のQ出力は“1”から“0”に変化する。

上記第1のフリップフロップ67のQ出力が“1”レベルである間、CCD駆動回路61からのクロックCK1はANDゲート69を通過して第3のフリップフロップ71に入力される。ここでフリップフロップ71のQ出力に入力クロック周波数を $1/2$ とした第7図(f)に示すクロックCK2が発生する。このクロックCK2はORゲート72を経てカウンタ73で計数される。つまり、第7図(f)のクロックの数は画素位置x1からx2までの画素数の半分、すなわち  $\frac{x_2 - x_1}{2}$  に相当する。

されたデータは $1/2$ 画素の分解能で検出したCCDリニアアレイセンサ45上での太陽光の分布の中心位置であり、これにより太陽入射角を検出することができる。尚、データは出力回路75によりこのデータを利用する機器とのインターフェースがとれるようなフォーマットに編集され、例えば相手側機器からの読出しクロックCK3に同期して出力される。

したがって、デジタル太陽センサを上記のように構成すれば、検出精度が $0.5^\circ$ という太陽光の広がりには制約を受けることがないので、スリット回折による太陽光の左右対称な強度分布の中心位置をCCDリニアアレイセンサの1画素の $1/2$ に相当する角分解能まで精度を向上させることができる。例えば、視野 $\pm 50^\circ$ 、 $2048$ 画素を有するCCDリニアアレイセンサを使用した場合、1画素に相当する角分解能は $0.05^\circ$ であり、検出の最少分解能は $0.025^\circ$ と飛躍的に向上させることができる。

また、このデジタル太陽センサを視野方向とな

ORゲート72からの出力は第7図(g)に示すようになり、カウンタ73に入力されている。これにより  $x_1 + \frac{x_2 - x_1}{2}$  を1画素に相当する分解能で求めることができる。すなわち、 $x_2 - x_1$  が奇数個であった場合、 $\frac{x_2 - x_1}{2}$  は実際には第7図(f)のクロック数に $1/2$ を加えたものとなるが、カウンタ73ではこの $1/2$ を計算することはできないため、太陽光の分布の中心位置は1画素より細かい分解能で求めることはできない。

そこで、さらに分解能を $1/2$ 画素まで上げるため、第3のフリップフロップ71のQ出力は画素位置がx2で比較器64の出力信号が“1”から“0”に変化するとき、 $x_2 - x_1$  が偶数ならば“0”レベル、奇数ならば“1”レベルに保持されるので、この信号とカウンタ73の出力信号とを、第2のワンショットマルチバイブレータ66より発生するパルスP2を用いて、 $N+1$ ビットのラッチ回路74にラッチする。このラッチ回路74に保持

る座標軸に垂直な二次元の検出器として使用する場合には、第8図に示すように、センサの光学系を2個使用し、互いのスリット421、422を直交して配置すればよい。

さらに、リニアアレイセンサはCCDリニアアレイセンサに限定されるものではない。

その他、この発明の要旨を変えない範囲で種々変形しても実施可能であることは言うまでもない。

#### [発明の効果]

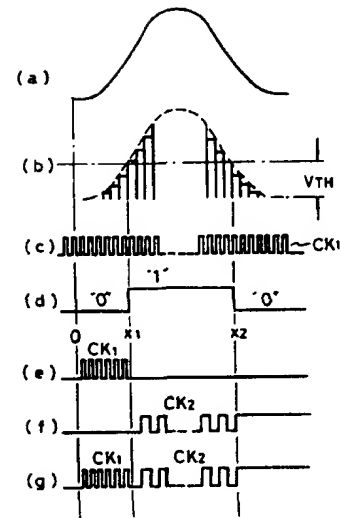
以上詳述したようにこの発明によれば、太陽入射角を高精度に検出することができるデジタル太陽センサを提供することができる。

#### 4. 図面の簡単な説明

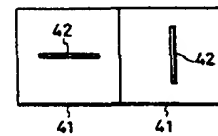
第1図乃至第7図はこの発明に係るデジタル太陽センサの一実施例を説明するためのもので、第1図は光学系の構成を示す斜視図、第2図は第1図の要部構成を説明するために示す図、第3図は第1図の光学系の側断面図、第4図は第1図のバンドパスフィルタの作用を説明するために示す波形図、第5図は入射角対角分解能の特性を示す

図、第6図は信号処理系の回路構成を示す図、第7図は第6図の動作を説明するために示す波形図、第8図はこの発明に係る他の実施例を示す斜視図、第9図は従来のデジタル太陽センサを説明するために示す概略構成図、第10図は第9図の動作を説明するために示す波形図、第11図は第9図とは異なる従来のデジタル太陽センサを説明するために示す概略構成図である。

41…遮光膜、42…スリット、43…プリズム、44…バンドパスフィルタ、45…CCDリニアアレイセンサ、46…NDフィルタ、62…プリアンプ、63…AGC回路、64…比較器、65、66…ワンショットマルチバイブレータ、67、68…S-Rフリップフロップ、69、70…ANDゲート、71…Dラッチ型S-Rフリップフロップ、72…ORゲート、73…カウンタ、74…ラッチ回路、75…出力回路、 $V_{TH}$ …しきい値電圧。

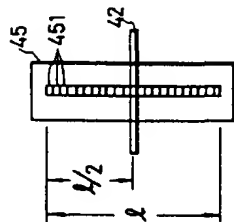


第7図

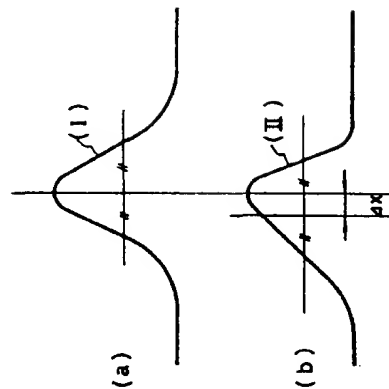


第8図

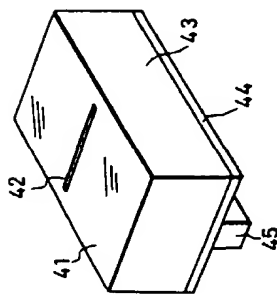
出願人代理人 弁理士 鈴江武彦



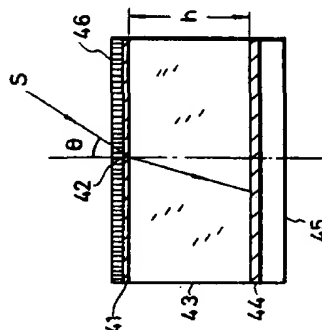
第2図



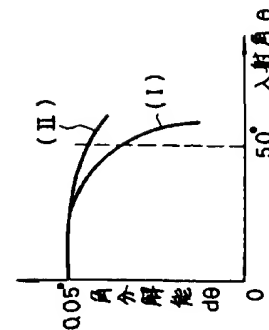
第4図



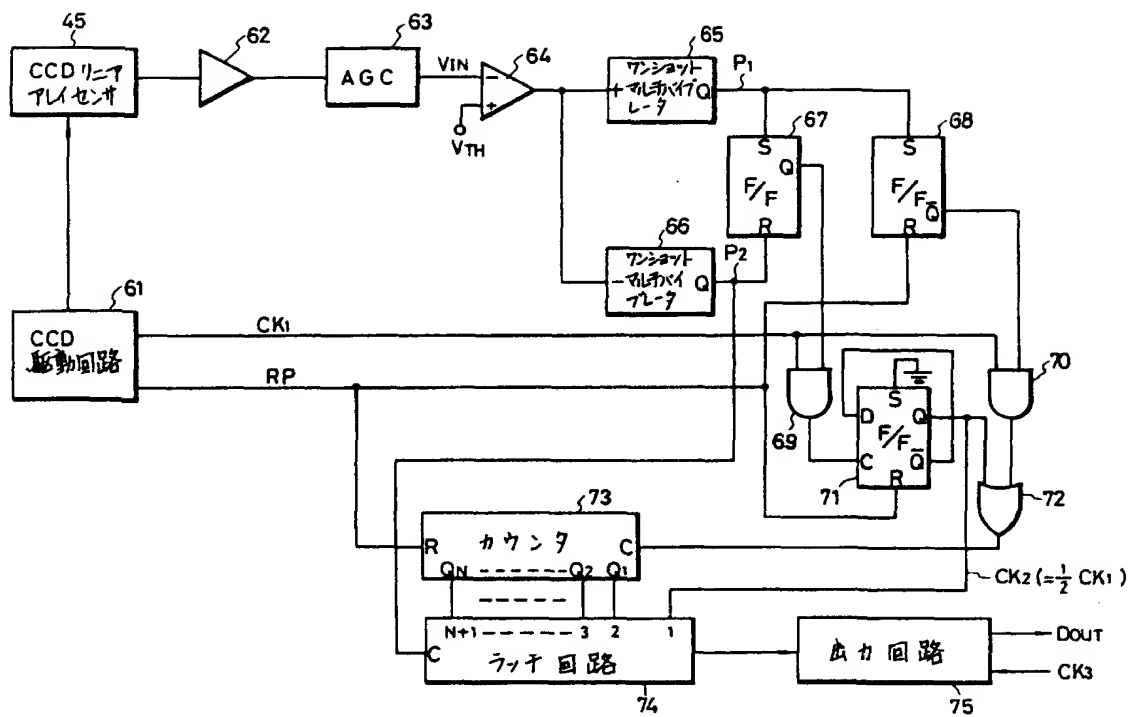
第1図



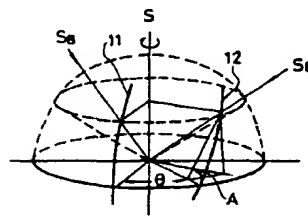
第3図



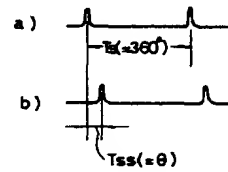
第5図



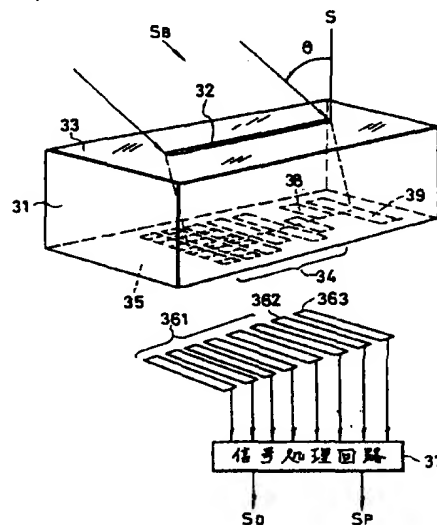
第 6 図



第 9 図



第 10 図



第 11 図